

# RANCANG BANGUN KONTROL SUHU AIR PADA PROTOTIPE PEMANAS AIR MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY

## DESIGN AND BUILD TEMPERATURE CONTROL OF PROTOTYPE HOT WATER USING FUZZY LOGIC

Nurdani Febrianto<sup>1</sup>, Erwin Susanto, S.T., M.T., Ph.D.<sup>2</sup>, Agung Surya Wibowo, S.T., M.T.<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

2Jalan Telekomunikasi, Dayeuh Kolot Bandung 40257 Indonesia

<sup>1</sup>nurdanifebrianto@students.telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>erwinelektro@telkomuniversity.ac.id,

<sup>3</sup>agungsw@telkomuniversity.ac.id

### Abstrak

Pemanas air ialah suatu perangkat keras atau perangkat elektronika yang mengontrol suhu air agar air tersebut naik beberapa derajat celsius tingkat kepanasannya. Namun masih ada keterbatasan maupun kekurangan dari pemanas air yang sudah ada, yakni ketepatan dan ketahanan suhu yang diinginkan hanya bertahan beberapa saat saja. Untuk mengatasi permasalahan tersebut penulis merancang sistem pemanas air yang menerapkan kontrol *fuzzy logic* sebagai kendalinya. Setelah kontrol fuzzy di implementasikan pada sistem, rise time suhu untuk mencapai *setpoint* 40°C ialah 15 detik overshoot suhu ialah 0,88 °C dan settling time 2 menit 12 detik. Sedangkan rise time untuk ketinggian mencapai *setpoint* 5 cm ialah 22 detik, dan overshoot ketinggian sebesar 7,19 cm.

Kata kunci : *fuzzy logic*, temperatur air, ketinggian air, pemanas air, pencampuran air.

### Abstract

Water heater is a hardware or electronic device that can control water's temperature so water's temperature level ascended several degrees.. But there are still limitation and disadvantage of conventional water heater, like a temporary accuracy and temperature's resistance. To solve this problems, the authors designs a water heater system implemented with fuzzy logic control as a controller. After fuzzy controller has been implemented on the system, rise time of temperature to get the set point 40°C is 15 second, and overshoot is 0,88°C and settling time is 2 minute 12 second. meanwhile the rise time of height to get setpoint 5 cm is 22 second and the overshoot is 7,19 cm.

Keywords : *fuzzy logic*, water temperature, water heater, water mixing.

## 1. Pendahuluan

### 1.1. Latar Belakang

Suhu ialah salah satu parameter yang sangat penting dalam kehidupan. Salah satunya alat yang menggunakan suhu sebagai parameter kerjanya ialah pemanas air. Pemanas air khususnya pemanas air elektrik semakin banyak kegunaannya dari tahun ke tahun. Baik untuk memanaskan air untuk minum, mandi, berendam, dan untuk membuat makanan. Dari semua kemudahan itu manusia akan semakin dimanjakan oleh kemajuan teknologi. Seperti salah satu contoh yang telah disebutkan sebelumnya, pemanas air elektrik dapat digunakan sebagai pemanas air untuk berendam. Berendam membuat tubuh manusia menjadi rileks dan lebih nyaman, terutama ketika setelah melakukan aktivitas maupun pada saat cuaca sedang dingin. Parameter suhu air yang optimal bagi tubuh manusia ialah  $\pm 40^{\circ}\text{C}$  [1].

Mengacu dari hal yang diatas, agar hasil keluaran bisa tercapai sesuai dengan yang diharapkan maka diperlukannya sistem kontrol. Sistem kontrol (*control system*) merupakan suatu kumpulan cara atau metode yang dipelajari dari kebiasaan-kebiasaan manusia dalam bekerja, dimana manusia membutuhkan suatu pengamatan kualitas dari apa yang telah mereka kerjakan sehingga memiliki karakteristik sesuai dengan yang diharapkan pada mulanya.[2]

Penulis akan merancang sebuah sistem pemanas air yang dapat mengontrol suhu secara otomatis dan dihubungkan dengan mikrokontroler dengan kontrol logika *fuzzy* sebagai pengendalinya, karena logika *fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input kedalam suatu ruang output, mempunyai nilai kontinyu, dan logika *fuzzy* memiliki toleransi terhadap data yang kurang tepat[3]. Penulis tidak akan menggunakan triac seperti pada penelitian sebelumnya[4], namun dengan mengontrol bukaan dari tiga buah keran yang berbeda suhunya, yakni keran yang mengalirkan air panas, keran yang mengalirkan air normal dan keran bukaan plant. Dari pencampuran air dari kedua keran tersebut maka didapat suhu air yang diinginkan. Dari penelitian ini yang diharapkan agar dapat meminimalisir permasalahan yang ada sebelumnya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana merancang pemanas air yang dapat mengontrol suhu dan ketinggian secara tepat.
2. Menerapkan sensor DS18B20 sensor HC-SR04 sebagai sensor dan umpan balik sistem pada sistem pemanas air.
3. Bagaimana cara mengatur keluaran air dengan suhu panas dan air dengan suhu normal secara tepat.
4. Menganalisis hasil respon dari sistem .

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini ialah :

1. Sistem kendali pemanas air menggunakan *fuzzy logic* sebagai kendalinya.
2. Sensor suhu yang digunakan ialah DS18B20 dan sensor ketinggian yang digunakan ialah HC-SR04.
3. Air yang digunakan ialah air yang bersuhu  $\pm 65^{\circ}\text{C}$  dan air yang bersuhu  $\pm 27^{\circ}\text{C}$ .
4. Menggunakan mikrokontroler Arduino Uno.
5. Menggunakan tiga buah motor servo sebagai aktuator
6. *Plant* yang digunakan ialah wadah penampung berukuran 30 cm x 20 cm x 20 cm.
7. Suhu yang dianalisis ialah suhu dari  $40^{\circ}\text{C}$  hingga  $45^{\circ}\text{C}$
8. Menggunakan pemanas air yang sudah jadi dan menggunakan air dengan suhu normal.

## 1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini ialah :

1. Mempelajari Logika Fuzzy
2. Merancang sistem pengontrol suhu pada wadah penampung air agar sesuai dengan suhu dan ketinggian referensi yang telah diberikan
3. Menganalisis pengontrol suhu dengan *fuzzy logic*.

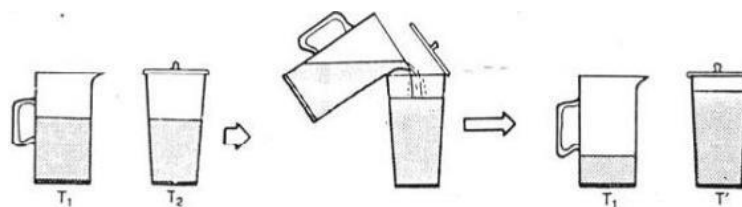
## 1.5 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penyusunan

1. Studi Literatur  
Merupakan penelusuran literatur yang bersumber dari buku, media, pakar ataupun dari hasil penelitian orang lain yang bertujuan untuk menyusun dasar teori yang penulis gunakan dalam pembuatan tugas akhir ini.
2. Perancangan dan Implementasi Alat  
Melakukan perancangan prototipe alat sesuai dengan parameter-parameter yang diinginkan dan merealisasikannya.
3. Analisa Sistem  
Menganalisis semua permasalahan yang ada berdasarkan sumber-sumber dan pengamatan terhadap permasalahan yang ada.
4. Konsultasi  
Konsultasi dilakukan secara berkala kepada dosen pembimbing dan pihak-pihak yang mengerti tentang elektronika, sistem kontrol, serta pemrograman komputer.

## 2. Dasar Teori / Material dan Metodologi / Perancangan

### 2.1 Asas Black



Gambar 2. 1 Pencampuran air.

Menurut asas Black apabila dua benda dengan suhu yang berbeda disatukan atau dicampur maka akan terjadi aliran kalor dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah.[5] Aliran ini akan berhenti sampai terjadi keseimbangan thermal (suhu ke dua benda sama) Secara matematis dirumuskan:

$$Q_{\text{lepas}} = Q_{\text{terima}} \\ m_1 \times C_1 \times \Delta T_1 = m_2 \times C_2 \times \Delta T_2 \quad (1.1)$$

Yang melepas kalor adalah benda yang suhunya tinggi dan yang menerima kalor adalah benda yang bersuhu rendah

### 2.1. Algoritma Fuzzy Logic

*Fuzzy* secara bahasa diartikan sebagai kabur atau samar-samar.[6] Suatu nilai dapat bernilai besar atau salah secara bersamaan. Dalam *fuzzy* dikenal derajat keanggotaan yang memiliki rentang nilai 0 (nol) hingga 1 (satu). Berbeda dengan himpunan tegas yang memiliki nilai 1 atau 0 (ya atau tidak).

Beberapa alasan digunakannya *fuzzy logic* :

1. Konsep *fuzzy logic* mudah dimengerti
2. *Fuzzy logic* sangat fleksibel.
3. *Fuzzy logic* memiliki toleransi terhadap data yang kurang tepat

## 2.2 Struktur Dasar Sistem Fuzzy

Didalam struktur dasar sistem pengendalian pada *fuzzy logic control*, terdapat empat komponen atau bagian utama yang sangat penting. struktur dasar dari pengendali *fuzzy logic control*, yang terdiri dari Fuzzifikasi, *Fuzzy Rule Base*, Inferensi dan Defuzzifikasi.

### 2.2.1.1 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah suatu proses untuk mengubah nilai crisp input menjadi nilai fuzzy input. Proses evaluasi rule mengolah *fuzzy input* sehingga menghasilkan *fuzzy output*.

### 2.2.1.2 Fuzzy Rule Base

Fuzzy Rule base mempunyai fungsi penting dalam pengendalian dengan logika fuzzy karena semua proses: **fuzzifikasi**, **inferensi** dan **defuzzifikasi** bekerja berdasarkan pengetahuan yang ada pada fuzzy rule base. Fuzzy rule base dibagi dua, yaitu data base dan rule base. Data Base berisi definisi-definisi penting mengenai parameter fuzzy seperti himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaannya yang telah didefinisikan untuk setiap variabel linguistik yang ada. Pembentukan data base meliputi pendefinisian ruang semesta, penentuan banyaknya nilai linguistik yang digunakan untuk setiap variabel linguistik, dan membentuk fungsi keanggotaan.

Basis rule berisi aturan kendali fuzzy yang dijalankan untuk mencapai tujuan pengendalian. Tiap rule kendali berupa implikasi dan pernyataan kondisional **IF – THEN**. Aturan-aturan **IF – THEN** yang ada dikelompokkan dan disusun kedalam bentuk Fuzzy Associative Memory (FAM). FAM ini berupa suatu matriks yang menyatakan input-output sesuai dengan aturan **IF – THEN** pada basis aturan yang ada. Bentuk matriks dari FAM akan dibahas kemudian. Aturan yang telah dibuat harus dapat mengatasi semua kombinasi-kombinasi input yang mungkin terjadi, dan harus dapat menghasilkan sinyal kendali yang sesuai agar tujuan pengendalian tercapai. Oleh karena itu, maka pembentukan basis aturan ini sangat penting.

### 2.2.1.3 Inferensi

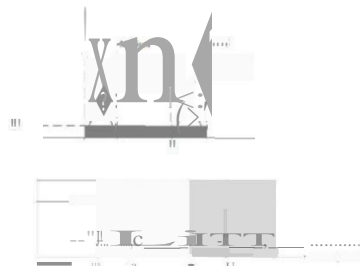
Inferensi adalah proses mensimulasikan pengambilan keputusan manusia berdasarkan konsep fuzzy. Ada 2 model yang banyak digunakan:

#### a. Model Mamdani

1. Penalarannya menyerupai intuisi atau perasaan manusia
2. Proses perhitungannya cukup kompleks sehingga membutuhkan waktu relatif lama
3. Menghasilkan ketelitian yang tinggi

Jika menggunakan Model Mamdani, dapat digunakan dua cara inferensi, yaitu clipping (alpha-cut) atau scaling. Metode yang paling umum digunakan adalah clipping karena mudah diimplementasikan dan bila diagregasikan dengan fungsi lain akan menghasilkan bentuk yang mudah di-defuzzifikasi.

Proses inferensi menggunakan Model Mamdani menggunakan proses clipping menghasilkan dua area abu-abu seperti gambar (2.2) berikut:

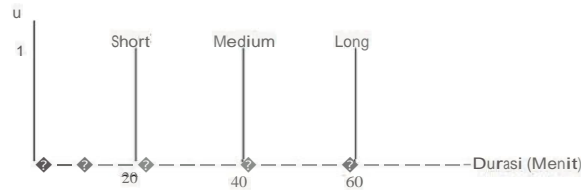


Gambar 2. 2 Hasil Proses Inferensi Model Mamdani

#### b. Model Sugeno

1. Proses perhitungan lebih waktu relative cepat
2. Cocok untuk sistem kontrol yang memerlukan respon cepat

Model Sugeno menggunakan fungsi keanggotaan yang lebih sederhana dibandingkan Model Mamdani. Fungsi keanggotaan tersebut adalah Singleton, yaitu fungsi keanggotaan yang memiliki derajat keanggotaan 1 pada suatu nilai crisp tunggal dan 0 pada semua nilai crisp yang lain. Misalkan fungsi Singleton untuk Durasi Penyiraman didefinisikan seperti gambar (2.3) berikut:



Gambar 2. 3 Inferensi dengan Fungsi Singleton

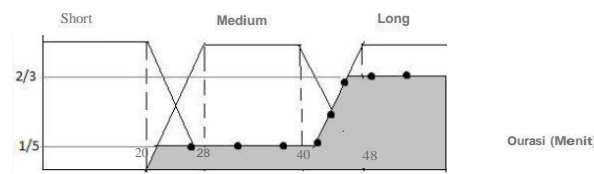
#### 2.2.1.4 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi mengubah *fuzzy output* menjadi nilai *crisp output*. Sebelum defuzzifikasi, harus dilakukan proses composition, yaitu agregasi hasil clipping dari semua aturan *fuzzy* sehingga didapatkan satu fuzzy set tunggal. Ada dua metode defuzzifikasi yang diterapkan yaitu center of area (COA) dan mean of maxima (MOM). Proses composition dengan model mamdani dari dua fuzzy set menghasilkan satu fuzzy set tunggal seperti terlihat pada gambar (2.4) berikut:



Gambar 2.4 Hasil Komposisi Dengan Model Mamdani

Misalkan digunakan *Centroid method* untuk proses *defuzzification*. Titik-titik pada area abu-abu ditentukan secara acak sehingga akan didapatkan satu titik pusat area (center of area atau center of gravity). Misalkan titik-titik sembarang tersebut adalah: 24, 28, 32, 36, 40, 48, 60, 70, 80, 90 seperti terlihat pada gambar (2.5)



Gambar 2. 5 Sampling Di Sembarang Titik Center Of area

Dengan menggunakan titik-titik tersebut dan persamaan:

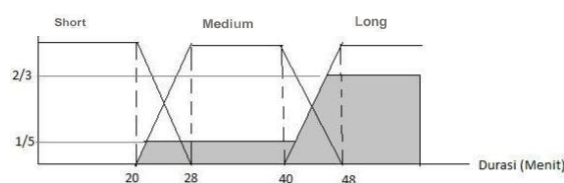
$$y = \frac{\sum x_i \cdot \mu_i}{\sum \mu_i} \quad (2.1)$$

diperoleh hasil nilai crisp sebagai berikut:

$$y = \frac{(24 + 28 + 32 + 36 + 40) \cdot \frac{1}{5} + (48 + 60 + 70 + 80 + 90) \cdot \frac{2}{3}}{\frac{1}{5} + \frac{2}{3}} = \frac{1}{5} + \frac{2}{3} = 4.33$$

$$y = \frac{1}{4.33} = 60.97 \quad (2.2)$$

Proses komposisi dari dua fuzzy set dengan model sugeno menghasilkan satu fuzzy set tunggal yang ditunjukkan pada gambar 2.6.

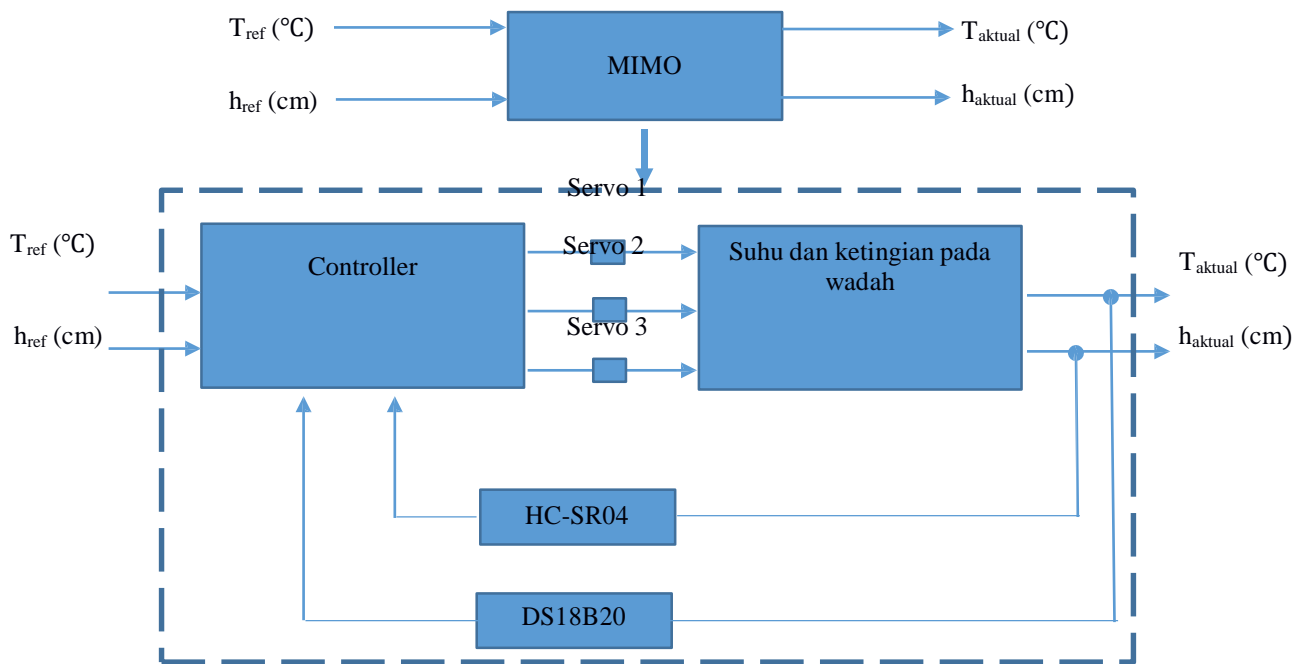


Gambar 2. 6 Hasil Komposisi Dengan Model Mamdani

Dengan demikian, jika menggunakan Model Sugeno dengan defuzzification berupa *Weighted Average*, maka nilai crisp yang didapat adalah 55,38

### 3.1 Gambaran Umum Sistem

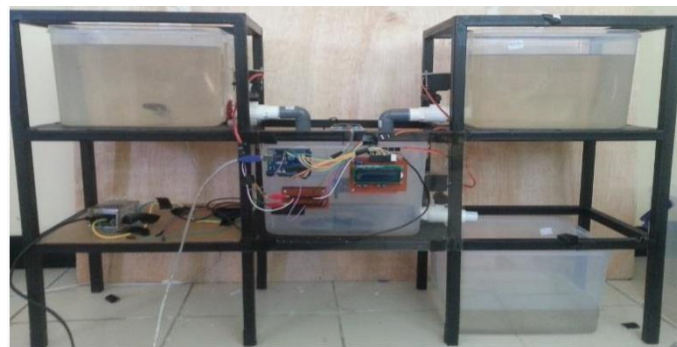
Perancangan sistem kontrol tugas akhir ini dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Blok diagram

Sistem yang dibuat penulis merupakan sistem yang memiliki ketergantungan antara variabel suhu dan ketinggian, misalkan saja apabila ketinggian yang di capai sudah mencapai setpoint yang ada bisa saja suhu aktual yang terbaca melebihi atau kurang dari setpoint dari suhu, begitu juga sebaliknya apabila suhu yang tercapai sudah terpenuhi setpoint namun bisa saja melebihi setpoint ketinggian atau bahkan kurang dari setpoint ketinggian. Oleh karena itu penulis memerlukan sistem pengendali yang dapat mengatur suhu dan ketinggian dari plan yang telah ditentukan. Untuk mencapai hal tersebut penulis merancang sistem dengan Multi Input dan Multi Output (MIMO).

Berdasarkan gambar 3.1, sistem yang akan dirancang menggunakan input berupa suhu dan ketinggian, dan output yang dikendalikan ialah tiga buah motor servo yang menggerakkan masing – masing keran. Karena input dan output yang digunakan lebih dari satu maka kendali yang tepat ialah menggunakan FLC (*Fuzzy Logic Controller*).



Gambar 3. 2 Perancangan alat

### 3.2 Perancangan Kontrol Logika Fuzzy

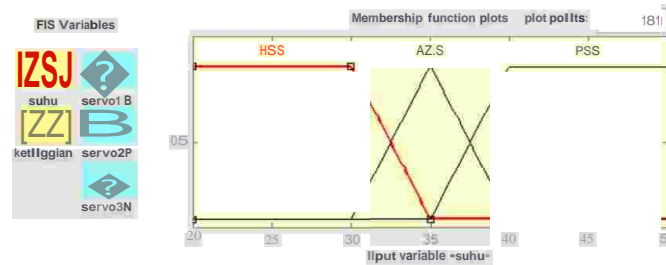
Pada perancangan kontrol Logika Fuzzy dalam Tugas Akhir ini menggunakan dua parameter input yakni, ketinggian dan suhu. Sedangkan untuk output yang dihasilkan berupa kendali tiga buah motor servo yang terhubung dengan masing – masing keran di setiap tangki air. Dalam merancang. Kontroler fuzzy ada beberapa tahap yang harus dilakukan :

#### 3.2.1 Fuzzifikasi

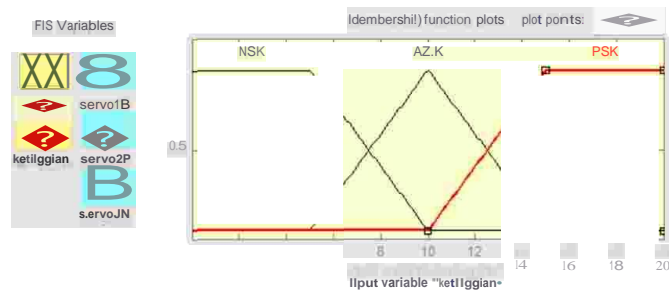
Pada tahap awal pengaturan logika fuzzy Fuzzifikasi adalah proses pemetaan input crisp ke dalam himpunan-himpunan fuzzy yang disajikan dalam bentuk fungsi keanggotaan. Tujuan dari fuzzifikasi adalah mendapatkan derajat keanggotaan dari hasil pemetaan input crisp kedalam fungsi keanggotaan yang bersesuaian.

Pada sistem ini fungsi keanggotaan yang digunakan ialah trapesium dan segitiga, dengan masukan dua buah input yakni, suhu dan ketinggian. Input suhu mempunyai tiga variabel linguistik, yakni NSS, AZS, PSS. Tiap – tiap variabel memiliki range jangkauan yang telah diatur menurut parameter suhu air yang baik untuk manusia. NSS memiliki range jangkauan 35°C – 40°C, sedangkan untuk AZS memiliki jangkauan 35°C dan terakhir PSS memiliki jangkauan sebesar 40 – 50°C. Sedangkan ketinggian memiliki tiga variabel linguistik juga yakni NSK, AZK, PSK. Dan masing – masing variabel memiliki jangkauan masing – masing. Untuk NSK memiliki jangkauan sebesar 0 – 5 cm dan untuk AZK memiliki jangkauan sebesar 10 cm dan terakhir untuk PSK memiliki jangkauan sebesar 15 – 20 cm.

Berikut gambar yang menunjukkan fungsi keanggotaan input ketinggian dan gambar yang menunjukkan fungsi keanggotaan suhu.

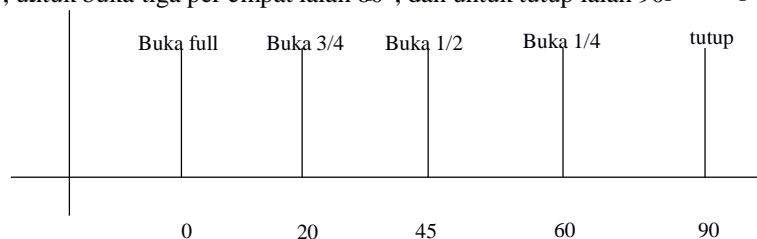


Gambar 3. 3 Membership Function Suhu



Gambar 3. 2 Membership Function Ketinggian

Output Pada sistem ini menggunakan model fungsi keanggotaan model Sugeno. Fungsi keanggotaan output dari bukaan servo terdiri dari 5 himpunan, yaitu tutup, buka satu per empat, buka setengah, buka tiga per empat, dan buka full untuk setiap motor servo. Nilai untuk tutup ialah 0°, untuk buka satu per empat ialah 20°, untuk buka setengah ialah 45°, untuk buka tiga per empat ialah 60°, dan untuk tutup ialah 90°.



Gambar 3. 3 Membership Function Output Bukaan Servo

### 3.2.2 Fuzzy Rule

Setelah menentukan fungsi keanggotaan masing-masing masukan dan keluaran, selanjutnya ditentukan *rules* (aturan) yang akan diterapkan pada kontroler.

Rule untuk motor servo 1


Tabel 3. 1 Rule Motor Servo 1

Rule untuk motor servo 2

Suhu	AN	NSK	AZK	PSK
NSS		Buka 3/4	Buka 3/4	Buka 3/4
AZS		Buka 1/2	Tutup	Tutup
PSS		Tutup	Tutup	Tutup



Tabel 3. 2 Rule Motor Servo 2

Rule untuk motor servo 3

SUHU	AN	NSK	AZK	PSK
NSS		Buka. 1/2	Tutup	Tutup
AZS		Buka. 1/2	Tutup	Tutup
PSS		Buka full	Buka 3/4	Buka 3/4

Tabel 3. 3 Rule Motor Servo 3

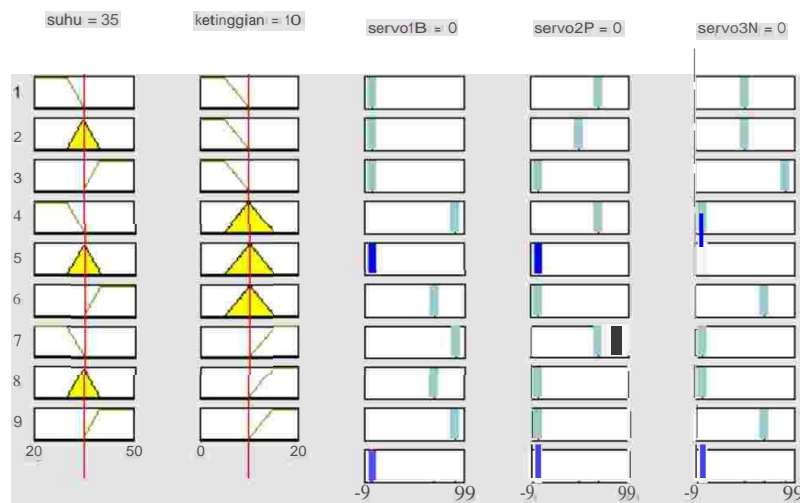
### 3.2.3 Defuzzyfication

Proses terakhir yaitu defuzzifikasi, yaitu mengubah himpunan fuzzy keluaran menjadi keluaran tegas (crisp). Pada sistem ini untuk melakukan defuzzifikasi menggunakan metode *weight average* dengan output dari proses defuzzifikasi berupa nilai aksi yang berfungsi untuk mengatur buka tutupnya servo.

$$y = \frac{\sum (\mu(x_i) \cdot y_i)}{\sum \mu(x_i)}$$

(3.1)

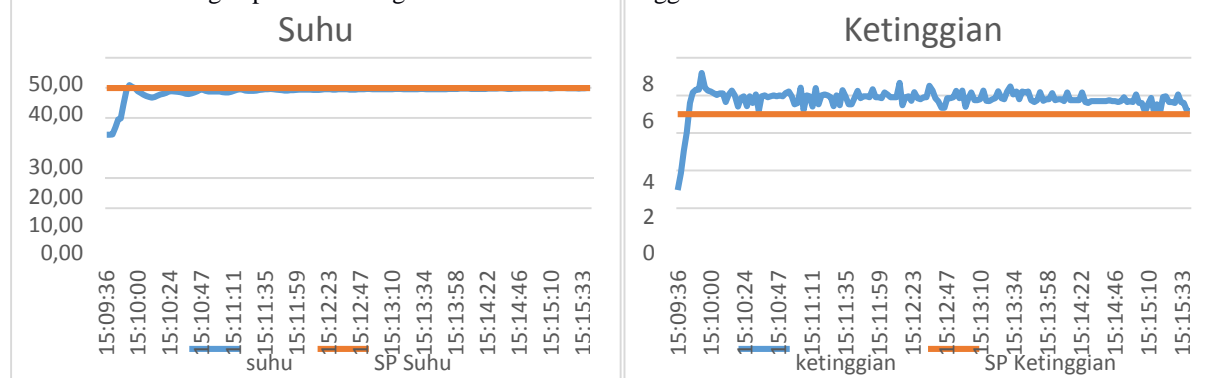
Dimana  $y$  adalah nilai *crisp* dan  $\mu(x_i)$  adalah derajat keanggotaan dari nilai *crisp*  $y$ .



Gambar 3. 4 Simulasi defuzzyfikasi

### 3.3 Berikut hasil pengujian sistem dengan menggunakan kontrol Kontrol Fuzzy

Pengujian kontrol fuzzy logic dilakukan dengan cara memasukan setpoint ketinggian sebesar 5 cm dan suhu sebesar 40°C. Dengan plant air dengan suhu 27°C dan ketinggian 1 cm.



Gambar 3.5 hasil pengujian kontrol suhu dan ketinggian dengan setpoint 40°C dan 5 cm dengan tanpa beban

Rise time suhu untuk mencapai setpoint ialah 15 detik overshoot suhu ialah 0,88 °C dan settling time 2 menit 12 detik. Sedangkan untuk ketinggian rise time yang didapat ialah 22 detik. Overshoot ketinggian sebesar 7,19 cm.

#### 4. Kesimpulan

1. Dengan menggunakan metode kontrol fuzzy, suhu dan ketinggian pada sistem dapat dijaga dengan baik. Untuk setpoint ketinggian memiliki tingkat akurasi hingga  $\pm 0,5$  cm dan untuk suhu tingkat akurasi yang didapat ialah  $\pm 0,5$  °C.
2. Metode kontrol fuzzy yang diimplementasikan pada sistem dapat bekerja dengan baik walaupun di beri gangguan yang berbeda – beda.
3. Fuzzy Logic Controller dapat bekerja dengan baik untuk memutuskan derajat di setiap motor servo.
4. Respon sistem dengan menggunakan kontrol fuzzy dihasilkan rise time yang singkat namun memiliki overshoot yang cukup besar. Seperti yang dilihat pada data rise time suhu untuk mencapai *setpoint* 40°C ialah 15 detik overshoot suhu ialah 0,88 °C dan settling time 2 menit 12 detik. Sedangkan rise time untuk ketinggian mencapai setpoint 5 cm ialah 22 detik, dan overshoot ketinggian sebesar 7,19 cm.
5. Kegunaan alat pencampuran air ini bisa diterapkan pada *shower, bathup*, mesin cuci, ataupun alat – alat yang membutuhkan pencampuran cairan yang membutuhkan ketinggian dan suhu yang stabil.

#### Daftar Pustaka

- [1] *Energy Smart Library for Your Home*. 2016. *Safety and Security for Your Home*. <https://www.energyguide.com/library/EnergyLibraryTopic.asp?bid=nevada&prd=10&TID=24442&SubjectID=9951>, akses 4 November 2015.
- [2] Juwana dan M. Unggul. 2006. Sistem Kontrol Proses dan PLC.
- [3] Gumilang Sejati, Tedy. 2015. Klasifikasi Suara Burung Lovebird dengan Algoritma *Fuzzy Logic*. Bandung. Universitas TELKOM
- [4] Hondianto, Tommy. 2015. Perancangan dan Implementasi Kendali Model Driven PID pada Sistem Pemanas Air. Bandung. Universitas TELKOM
- [5] Nur Rohmah, Elfi. Hayatunnufus, Tatun. 2015. Design Oven Laboratorium untuk Rekayasa Minyak Goreng Bekas Menjadi Biooil. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon.
- [6] Ismail, Ikhsan. 2015. Implementasi Logika Fuzzy dan Kalman Filter untuk Kendali Lengan Robot Menggunakan Gestur Tangan Manusia. Tugas Akhir: Jurusan Teknik Elektro Telkom University, Bandung